

41372

P.-61.381

R 57317

29 SET. 1975

Int. Cl. B21D Nos; B21D 5/16

MEMORIA DESCRIPTIVA

para solicitar PATENTE DE INVENCION por 20 años

a nombre de USS ENGINEERS AND CONSULTANTS, INC.

entidad norteamericana

establecida en 600 Grant Street, Pittsburgh, Pensilvania, Estados
Unidos de América.

por: "METODO MEJORADO PARA LA PRODUCCION DE BANDA DE ACERO"

24-9-75

-1-

BAD ORIGINAL

Esta invención se refiere a un método de producción económica de productos de banda de acero con una elevada embutibilidad profunda, como demuestra el valor \bar{r} , y más particularmente se refiere a ciertos procedimientos de reducción en frío y recocido de aceros de bajo contenido de Mn.

5

Se admite en general que el rendimiento de una banda de acero durante las operaciones de formación, conocidas como embutición profunda, está estrechamente asociado con la proporción, \bar{r} , de la deformación verdadera en anchura a la deformación verdadera en espesor, cuando el acero se deforma por tracción en la dirección de la longitud.

10

Por lo tanto, la adecuación de un acero para la embutición profunda puede determinarse midiendo r en el laboratorio, y frecuentemente puede evitarse la mayor dificultad de los ensayos de embutición a escala natural. Es normal medir r en el plano de la chapa en tres direcciones, una paralela a la dirección de laminación (r_0), una diagonal a la dirección de laminación (r_{45}) y una perpendicular a la dirección de laminación (r_{90}). De estos tres componentes se derivan usualmente dos características resumidas:

15

20

$$\bar{r} = (r_0 + 2r_{45} + r_{90})/4 \quad (1)$$

$$\Delta r = (r_0 - 2r_{45} + r_{90})/2 \quad (2)$$

Los valores altos de \bar{r} van asociados a una alta capacidad para experimentar una embutición profunda sin fractura; y los valores de Δr próximos a cero van asociados a una baja tendencia hacia una perjudicial

25

falta de uniformidad direccional en piezas embutidas profundamente, conocida como "estiramiento no uniforme".

Se han producido aceros isotrópicos con valores de \bar{r} e Δr próximos a 1,0 y 0,0 respectivamente. Estos aceros tienen una embutibilidad profunda limitada, pero una excelente resistencia al estiramiento no uniforme. La chapa de acero semicalmado laminada en frío muestra generalmente unos valores de \bar{r} e Δr del orden de 1,2 y +0,4, respectivamente. Tales aceros pueden someterse a operaciones suaves de embutición profunda, pero tienen un estiramiento no uniforme perjudicial. Los aceros calmados especiales de calidad para embutición (DQSK) se caracterizan frecuentemente por valores de \bar{r} e Δr próximos a 1,5 y 40,5 respectivamente. Aunque estos aceros pueden resistir embuticiones exigentes, también tienden a sufrir un estiramiento no uniforme; y son mas costosos de producir que los aceros calmados. Recientemente han aparecido chapas de acero que contienen elementos estabilizantes, tales como columbio o titanio, que se combinan con elementos intersticiales (por eje. C y N). Estos aceros tienen valores de \bar{r} de 2,0 ó más, y por lo tanto pueden resistir embuticiones profundas muy intensas. La tendencia al estiramiento no uniforme puede ser pequeña en algunos casos, como indican unos valores de Δr cercanos a -0,1, o elevada en otros casos, como indican unos valores de Δr próximos a +0,5. No obstante, por su contenido de columbio o titanio, estos aceros son de producción muy costosa. En la Patente de los EE.UU. nº 3.709.744 se muestra un método bastante más económico para conseguir una mejor embutibilidad, sin necesidad de costosos elementos estabilizantes. Sin embargo,

5 el conseguir una elevada embutibilidad, como se indica en la patente, está limitado por dos factores importantes: (a) El contenido de Mn ha de mantenerse por debajo de aproximadamente 0,15%, y (b) el contenido de oxígeno ha de mantenerse por debajo de aproximadamente 150 ppm. La necesidad de que el Mn esté por debajo del 0,15% requiere a su vez que el contenido de S sea muy bajo, porque si no la chapa será susceptible de agrietamiento en los bordes. Igualmente, la necesidad de desoxidar aumenta el coste de producción.

10 Por lo tanto, un objeto principal de esta invención es proporcionar métodos para aumentar la embutibilidad de aceros no estabilizados de bajo contenido de Mn.

Otro objeto de esta invención es proporcionar un método para alcanzar valores de \bar{r} iguales o superiores a los de aceros DQSK, sin necesidad de desoxidación.

15 Otro objeto más de esta invención es proporcionar un método de aumentar los límites antes indicados de contenido de Mn, y conseguir sin embargo valores de \bar{r} iguales o superiores a los de aceros DQSK.

20 Otro objeto aún de esta invención es proporcionar un método de aumentar más los valores de \bar{r} de aceros del tipo mostrado en la Patente de los EE.UU. nº 3.709.744.

25 Estos y otros objetos y ventajas de la presente invención se harán más evidentes a partir de la siguiente descripción, considerada conjuntamente con las reivindicaciones anexas y los dibujos, en los que:

La figura 1 es una representación gráfica que muestra el efecto, tanto de la temperatura de recocido como del contenido de fósforo, sobre los parámetros de anisotropía de aceros de bajo contenido de Mn fundidos en vacío.

5 La figura 2 es una representación gráfica que muestra el efecto, tanto de la temperatura de recocido como del contenido de fósforo, sobre los parámetros de anisotropía de aceros de bajo contenido de Mn fundidos al aire.

10 La figura 3 es una representación gráfica que muestra el efecto, tanto de unos mayores grados de reducción en frío como de mayores contenidos de fósforo, sobre los valores de \bar{r} de aceros de bajo contenido de Mn fundidos en vacío.

15 En la producción convencional de banda de acero para embutición profunda (la expresión "banda" que se usa aquí incluye chapa también), la banda laminada en caliente se enrolla y enfría hasta aproximadamente la temperatura ambiente, se reduce en frío hasta una reducción de espesor de más de aproximadamente 60%, y después se recuece en la región alfa de una sola fase (es decir, dentro de un intervalo de temperatura de desde aproximadamente 648°C hasta la temperatura de transformación alfa-gamma). Tal recocido se efectúa durante un tiempo suficiente para dar la textura cristalográfica deseada, como se comprueba por \bar{r} , profundidad de ductilidad, etc. Ya se sabe que, cuando este recocido se efectúa dentro de los límites de la región de una sola fase, la máxima \bar{r} alcanzable aumenta al aumentar la temperatura de recocido. Así, en la patente de los EE.UU. n.º 3.607.456 se muestra

20

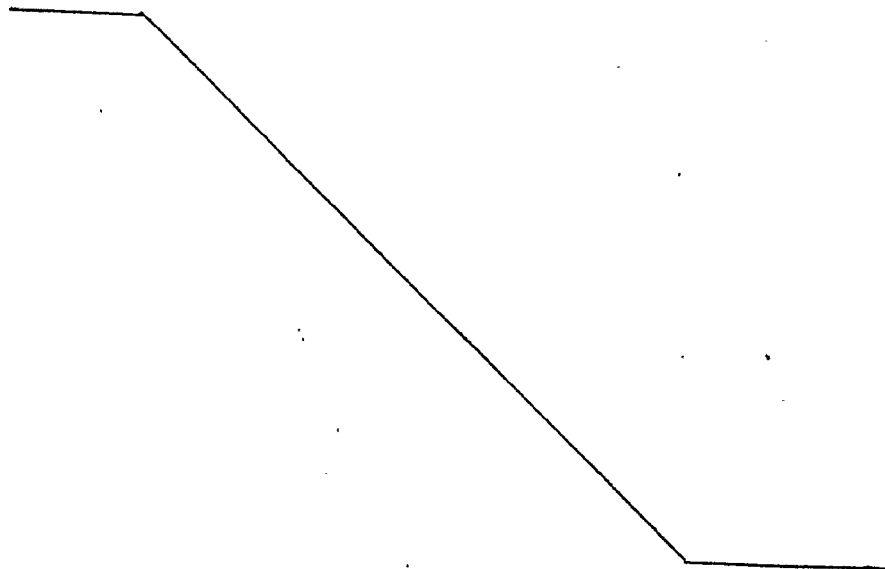
25

que cuando el C se estabiliza con Ti, y empleando temperaturas de recocido de más de unos 815°C, \bar{r} aumentará al aumentar la temperatura hasta los límites de la región de dos fases. Naturalmente, lo mismo ocurriría con un acero estabilizado con Cb. De modo similar, Teshima y otros (Mechanical Working of Steel, Confer. TMS-AIME, Vol. 26, 1964, pags. 279-320, en la 306) muestran que en aceros descarburizados, es decir en los que el C es totalmente soluble en el hierro alfa, el valor de \bar{r} también aumenta con la temperatura. Contrariamente, sin embargo, generalmente se espera que el recocido en la región alfa-gamma de dos fases sería, o bien perjudicial, o al menos no tendría ningún efecto en la embutibilidad.

Se ha encontrado ahora que los aceros de bajo contenido de Mn se comportan de manera muy distinta. Es decir, que los valores de \bar{r} de tales aceros de bajo contenido de Mn pueden aumentarse por recocido en la región de dos fases. Más específicamente, los valores \bar{r} de una banda de acero de bajo contenido de Mn recocido en la región de dos fases (es decir a temperaturas desde la Ac_1 hasta la Ac_3) aumentarán con (1) la temperatura de recocido, prefiriéndose temperaturas de desde 760 a 850°C, (2) el grado de reducción en frío anterior, prefiriéndose reducciones de 80 a 90%, y (3) los contenidos de fósforo de hasta aproximadamente 0,12%, prefiriéndose de 0,04 a 0,08%, especialmente en aceros con contenidos de oxígeno de más de unas 300 ppm.

Estudios preliminares empleando medidas de módulo dinámico indicaron el efecto beneficioso, sobre los valores de \bar{r} , como se ha indicado anteriormente, de la temperatura de recocido, la reducción

en frío y las adiciones de P. En vista de ello, se efectuaron estudios posteriores empleando medidas mecánicas para comprobar los descubrimientos iniciales: Se colaron seis lingotes de 22,5 kg de acero de bajo contenido de Mn, con contenidos variables de P, a partir de un caldo de 135 kg fundido en vacío. Se colaron también tres lingotes de 45 kg, con diferentes contenidos de P, a partir de un caldo de 135 kg, fundido en aire. En estos últimos lingotes fundidos en aire se emplearon pequeñas proporciones de Al para controlar la acción de semidesoxidación durante la solidificación. Los lingotes resultantes, tanto del caldo fundido a vacío como del fundido en aire, se laminaron primero hasta formar planchas de un espesor de menos de 2,5 cm. Las composiciones químicas de las planchas resultantes se muestran en las Tablas I y II.



T A B L A I

Composiciones químicas de los aceros fundidos en vacío, % en peso

No.	C	Mn	P	S	Si	Cu	Ni	Cr	N	Al Sol	Al Insol	Al Total	Oxígeno, ppm
C-1	0,016	0,11	0,12	0,010	0,034	0,007	0,022	0,018	0,004	<0,001	0,001	<0,002	34
C-2	0,018	0,11	0,091	0,016	0,034	0,007	0,022	0,016	0,004	0,001	0,004	0,005	37
C-3	0,018	0,11	0,062	0,016	0,034	0,007	0,022	0,016	0,004	0,001	<0,001	<0,002	45
C-4	0,019	0,11	0,030	0,016	0,030	0,007	0,020	0,014	0,003	0,001	<0,001	<0,002	46
C-5	0,019	0,10	0,015	0,016	0,032	0,007	0,020	0,016	0,004	0,001	<0,001	<0,002	47
C-6	0,020	0,10	0,004	0,016	0,024	0,007	0,020	0,014	0,003	0,001	<0,001	<0,002	59

T A B L A II

Composiciones químicas de los aceros fundidos en aire, % en peso

No.	C	Mn	P	S	Si	Cu	Ni	Cr	N	Al Sol	Al Insol	Al Total	Oxígeno, ppm
D-1	0,020	0,10	0,041	0,018	0,016	0,014	0,015	0,025	0,006	0,007	0,054	0,061	658
D-2	0,018	0,11	0,072	0,016	0,008	0,012	0,015	0,026	0,005	0,003	0,019	0,022	625
D-3	0,016	0,14	0,09	0,016	0,011	0,012	0,015	0,024	0,006	0,001	0,017	0,018	780

El tratamiento térmico final consistió entonces en calentar de nuevo las planchas a 1230°C y laminarlas en caliente hasta un espesor de 3,8 mm, con una temperatura de acabado de unos 950°C. Las bandas laminadas en caliente se sumergieron inmediatamente en agua de hielo durante aproximadamente 2 segundos para simular un enfriamiento por pulverización con agua, y después se enfriaron de 620°C hasta la temperatura ambiente a una velocidad de aproximadamente 40°C/hora para simular el enfriamiento de la banda en rollo en las operaciones comerciales. Las bandas enfriadas se limpiaron con chorro de arena, se decaparon y después se laminaron en frío 80 por ciento hasta formar una banda de 0,76 mm. A partir de piezas vírgenes cortadas de las bandas laminadas en frío a 0,45 y 90 grados con la dirección de laminación se prepararon por mecanizado probetas para tracción. Estas probetas se recocieron después en N₂ + 15 por ciento de H₂, a una velocidad de calentamiento de aproximadamente 25°C/hora, hasta temperaturas de 710°C, 780°C o 820°C, se mantuvieron a estas temperaturas durante 20 horas, y después se enfriaron en el horno (simulando un recocido en caja cerrada). Los resultados se indican gráficamente en las Figuras 1 y 2. Para ambos tipos de acero es evidente el efecto beneficioso del recocido en la región de dos fases (es decir a 780 y 820°C). Para los aceros fundidos en aire, se ve que el efecto beneficioso del fósforo disminuye un poco a concentraciones de fósforo de más de 0,08%. Sin embargo, incluso a concentraciones más altas (es decir hasta 0,12% de P) los valores de \bar{r} obtenidos son aún claramente superiores a los de aceros similares fundidos en aire y de bajo contenido de Mn (véase,

por ejemplo, la patente de los EE.UU. n° 3.709.744) que contienen poco o nada de fósforo (es decir, menos de 0,01% de P.). Así pues, empleando más de aproximadamente 0,015% de P, y preferiblemente de 0,04 a 0,08%, puede lograrse una excelente embutibilidad profunda en aceros de bajo contenido de Mn, sin necesidad de desoxidación.

5

Como sería de esperar que cantidades mayores de Mn y Si tuvieran un efecto perjudicial en la embutibilidad, se realizaron más investigaciones para investigar los límites de estos dos elementos. Los aceros de estas últimas investigaciones se laminaron en caliente, en frío y se recocieron según los procedimientos explicados antes, con la excepción de que sólo se emplearon dos temperaturas de recocido, es decir (i) 710°C, recocido subcrítico, y (ii) 780°C, recocido intercrítico. Las composiciones químicas, y los valores de \bar{r} y de Δr para estos aceros se dan a continuación en la Tabla III (fundidos en vacío) y la Tabla IV (fundidos en aire), respectivamente.

10

15



T A B L A III

Aceros fundidos en vacio

No.	C	Mn	P	S	Si	Cu	Ni	Cr	Al Sol	Al Total	N	Oxigeno ppm	Recocido critico, 710°C		Recocido Sub-critico, 710°C		Recocido intercrítico, 780°C	
													F	ΔF	F	ΔF	F	ΔF
E-1	0,020	0,201	0,043	0,021	0,021	0,005	0,020	0,020	<0,001	<0,002	0,004	93	1,99	-0,49	2,15	-0,52		
E-2	0,014	0,201	0,043	0,183	0,022	0,005	0,022	0,020	<0,001	0,002	0,006	52	2,23	-0,24	2,52	-0,29		
E-3	0,020	0,205	0,044	0,365	0,022	0,007	0,022	0,020	<0,001	0,002	0,004	42	2,03	0,01	2,51	0,11		
E-4	0,018	0,203	0,044	0,700	0,020	0,007	0,020	0,020	<0,001	<0,002	0,003	52	2,01	0,10	2,27	0,26		

T A B L A IV

No	C	Mn	P	S	Si	Cu	Ni	Cr	Al Sol	Al Total	N	Oxigeno ppm	Recocido critico, 710°C		Recocido Sub-critico, 710°C		Recocido intercrítico, 780°C	
													F	ΔF	F	ΔF	F	ΔF
F-1	0,017	0,170	0,067	0,024	0,032	0,019	0,012	0,020	0,007	0,009	0,005	387	2,09	0,10	2,35	0,25		
F-2	0,014	0,176	0,066	0,023	0,163	0,019	0,012	0,020	<0,001	0,002	0,006	350	2,17	0,07	2,27	0,15		
F-3	0,016	0,171	0,066	0,023	0,305	0,019	0,012	0,020	<0,001	0,002	0,005	285	2,11	0,15	2,34	0,22		
F-4	0,016	0,186	0,066	0,022	0,780	0,021	0,010	0,020	<0,001	0,005	0,006	323	1,95	0,26	2,07	0,35		

Los resultados muestran claramente que se pueden obtener valores excelentes de \bar{r} y Δr a todos los niveles de Si y Mn que se emplearon anteriormente. Se ve, por tanto por los resultados anteriores y por otros trabajos, que puede emplearse hasta aproximadamente 1,0% de Si y hasta aproximadamente 0,25% de Mn sin ninguna disminución importante en los valores de \bar{r} . Se ve además, con respecto a los aceros fundidos en aire, que empleando más de 0,015% de P (en este caso alrededor de 0,067%) pueden obtenerse valores de \bar{r} relativamente altos en aceros con contenidos de oxígeno claramente mayores de 300 ppm. Finalmente, y como se esperaba, ambos conjuntos de aceros muestran que el recocido intercrítico (780°C) daba valores de \bar{r} significativamente más altos que el recocido subcrítico (710°C).

La figura 3 es una representación gráfica de algunos de los resultados preliminares obtenidos, como se ha indicado antes, usando medidas de módulo dinámico. Estos ensayos preliminares se hicieron con banda muy delgada, en parte como consecuencia de las reducciones en frío relativamente grandes empleadas para la banda laminada en caliente. Aunque en la práctica comercial será difícil obtener valores de \bar{r} de la magnitud mostrada en esta figura, la tendencia que se observa es evidente. Así pues, es fácilmente observable el efecto beneficioso de mayores grados de reducción en frío. Puede verse también que aún aumenta más la eficacia de tales reducciones en frío superiores a las normales a medida que aumenta el contenido de fósforo. También en este caso se observa que los aceros de bajo contenido de Mn se comportan de manera diferente a los aceros convencionales para embu-

tición profunda, en los que es sabido que las reducciones en frío de más del 80% tienen un efecto perjudicial en el valor de \bar{r} (véase, por ejemplo, la patente de los EE.UU. n° 3.761.324).

5 Por lo tanto, la presente invención puede efectuarse del siguiente modo. Una masa fundida de acero se ajusta a un contenido de desde 0,015 a 0,06% de C y desde 0,01 a 0,25% de Mn. Para lograr una máxima embutibilidad, es deseable emplear menos de 0,20% de Mn, y no pasar de lo que pueda ser necesario, compatible con el contenido de S de la masa fundida, para prevenirse contra la fragilidad en caliente
10 (agrietamiento de los bordes). En general es deseable una proporción de Mn a S de al menos aproximadamente 7:1. Puede añadirse P hasta 0,12% por sus efectos conocidos, tales como una mayor resistencia, o para aumentar más la embutibilidad, de acuerdo con las enseñanzas de esta invención. Si se requieren una ductilidad y embutibilidad máxi-
15 mas, entonces (a) el contenido de C estará próximo al extremo inferior del intervalo, y preferiblemente será inferior a 0,04%, y (b) no se añadirá intencionadamente Si. No obstante, si se desea hacer máxima la resistencia y sin embargo conseguir valores de \bar{r} iguales o superiores a los de los aceros DQSK, entonces puede admitirse que el Si lle-
20 gue hasta aproximadamente 1,0%, y preferiblemente no más de 0,7%, sin ningún descenso serio del valor de \bar{r} . Según el uso final deseado del producto en banda y de las consideraciones económicas implicadas, el caldo puede desoxidarse por cualquiera de los métodos conocidos, por ejemplo: (i) desoxidar con Al sólo, o con una combinación de elementos
25 desoxidantes, tales como Al y Si; (ii) semidesoxidación-estabilización,

es decir dejar que el acero semiencalmado durante un periodo de tiempo suficiente solo para conseguir una superficie semiencalmada y después desoxidar inmediatamente el núcleo con Al, o (iii) desgasificación a vacío. Sin embargo, contrariamente a las enseñanzas de la patente de los EE.UU. nº 3.709.744, la desoxidación ya no es esencial para alcanzar altos valores de \bar{r} .

La masa fundida de acero, con una composición comprendida entre los límites prescritos anteriormente, es colada después, por ejemplo por colada en lingotes o por procedimientos de colada continua.

Los lingotes o placas resultantes se laminan después en caliente hasta el espesor de la banda deseado, con una temperatura de acabado superior en general a 850°C, y preferiblemente superior a 900°C. La banda laminada en caliente se enfría después, preferiblemente, de modo rápido, por ej. por enfriamiento por pulverización, hasta la temperatura de enrollado, y se enrolla. Después se limpia la superficie del material enrollado de manera conocida (por ejemplo por decapado, etc) y se reduce en frío para conseguir una reducción de espesor de al menos 60%.

Sin embargo, como se ha mostrado en la Memoria, se prefieren reducciones de espesor de al menos 80% para conseguir un valor máximo de \bar{r} , esencialmente en aceros que contienen más de 0,015% de P. La banda resultante se calienta después lentamente, en una atmósfera protectora, hasta la temperatura de recocido final. La velocidad de calentamiento ha de ser suficientemente baja para evitar la indeseable nucleación y su correspondiente efecto perjudicial sobre el valor de \bar{r} . En general,

la velocidad de calentamiento ha de ser menor de 100°C/hora, y más

preferiblemente menor de 50°C/hora. Según esta invención, el recocido final se realiza a una temperatura comprendida en la región de dos fases, es decir superior a Acl pero inferior a Ac3. La temperatura real empleada depende, en gran medida, de cuánto se desee maximizar \bar{n} , prefiriéndose temperaturas de 760° a 850°C. No obstante, en aceros que contienen más de 0,04% de C, es deseable que la temperatura final sea inferior a 800°C, ya que en estos aceros de mayores contenidos de carbono hay tendencia a que \bar{n} disminuya a temperaturas superiores. Por el contrario, cuando el contenido de carbono está en el intervalo de 0,015 a 0,03%, son preferibles temperaturas más altas, es decir de 800-850°C, para alcanzar la máxima embutibilidad.

Esta solicitud que corresponde a la presentada en Estados Unidos de América, el 30 de Septiembre de 1974, con el nº 510,843, se acoge a los beneficios del artículo 51 del vigente Estatuto sobre Propiedad Industrial.

REIVINDICACIONES

Los puntos de invención propia y nueva que se presentan para que sean objeto de esta solicitud de Patente de Invención en España por VEINTE años, son los que se recogen en las reivindicaciones siguientes:

1^a.- Método mejorado para la producción de banda de acero para embutición profunda, en la que una banda de acero laminada en caliente, que consta esencialmente de lo siguiente, en tanto por ciento en peso: C, 0,015 a 0,06; Mn, 0,01 a 0,25; P, como máximo 0,12; Si, como máximo 1,0, y el resto es Fe y los elementos componentes incidentales en la fabricación de acero, y donde al menos 0,015% de C está presente en forma no combinada, se lamina en frío para efectuar una reducción de espesor de desde 60 a 90 por ciento, y la banda reducida en frío resultante se calienta después lentamente hasta una temperatura de recocido de al menos aproximadamente 650°C y se mantiene a dicha temperatura de recocido durante un tiempo suficiente para alcanzar una textura cristalográfica deseada, como demuestra el valor de \bar{r} del producto en banda resultante, en el que la mejora comprende emplear una temperatura de recocido superior a la temperatura Ac_1 pero inferior a la temperatura Ac_3 de dicho acero.

2^a.- El método según la reivindicación 1^a, en el que dicha temperatura de recocido es de aproximadamente 760° a 850°C.

3^a.- El método según la reivindicación 2^a, en el que dicha banda se reduce en frío para alcanzar una reducción de espesor de al menos 80 por ciento.

4^a.- El método según la reivindicación 3^a, en el que el contenido de P es de al menos 0,015%.

5^a.- El método según la reivindicación 4^a, en el que los contenidos de C, Mn, P y Si de la banda son: C, 0,02 a 0,04%; Mn, 0,05 a 0,20%; P, al menos 0,04% y Si como máximo 0,7%.

6ª.- El método según la reivindicación 5ª, en el que el contenido de oxígeno de la banda es menor de aproximadamente 150 ppm.

7ª.- El método según la reivindicación 5ª, en el que el contenido de oxígeno es mayor de aproximadamente 300 ppm y el contenido de P es menor de aproximadamente 0,08 por ciento.

8ª.- Método mejorado para la producción de banda de acero.

Tal y como se ha descrito en la Memoria que antecede, representado en los dibujos que se acompañan y para los fines que se han especificado.

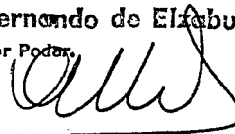
Esta Memoria consta de diecisiete hojas escritas a máquina por una sola de sus caras.

Madrid,

29 SET. 1975

P.A.

Fernando de Elzaburu
Por Poder.



290

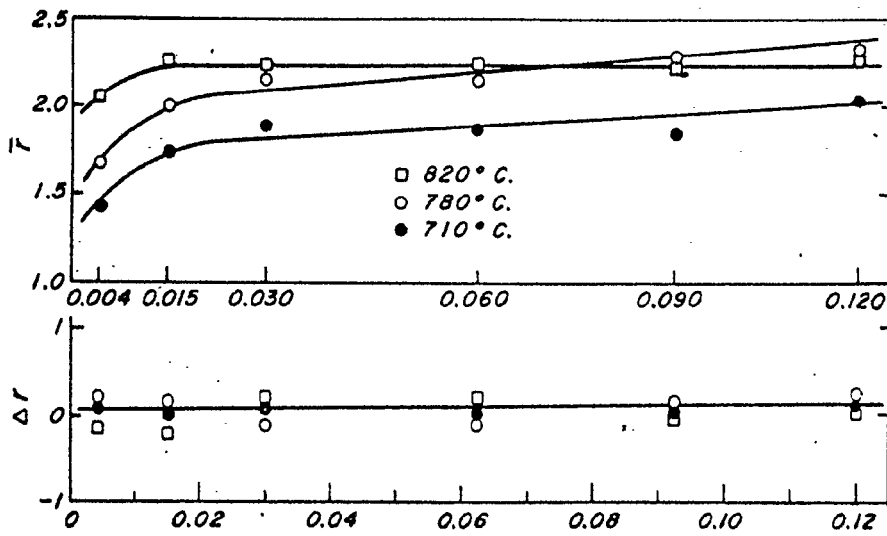


FIG. 1.

Fernando de Elzaburo
Por Poder.

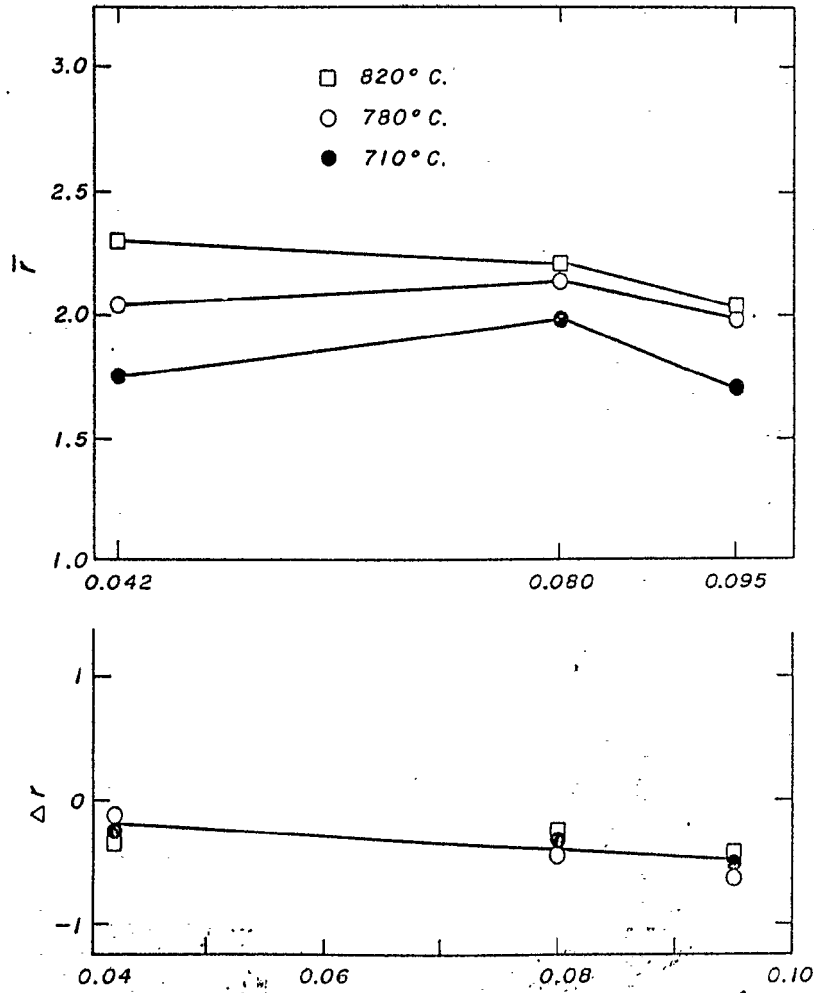


FIG. 2.

Fernando de Elizaburu
Por Poder.



29

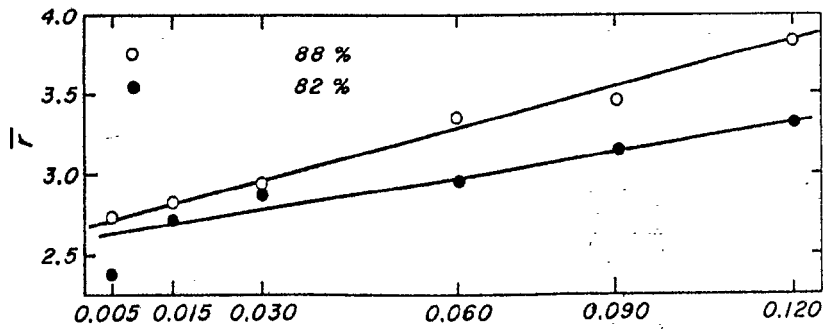


FIG. 3.

Fernando de Elizaburu
Por Poder.